

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-323767  
 (43)Date of publication of application : 24.11.2000

(51)Int.CI.

H01L 43/08  
 G01R 33/02  
 G11B 5/39  
 H01F 10/06  
 H01L 43/10  
 // H01F 10/16

(21)Application number : 2000-062425

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 07.03.2000

(72)Inventor : TSUKAGOSHI KAZUHITO  
 ALPHENAAR BRUCE W  
 MIZUTA HIROSHI

(30)Priority

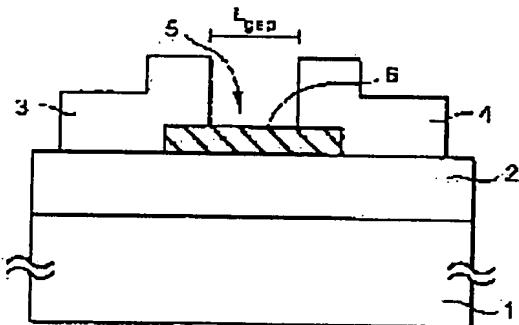
Priority number : 99 99303615 Priority date : 10.05.1999 Priority country : EP

## (54) MAGNETO-ELECTRONIC DEVICE AND MAGNETIC HEAD

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To acquire a magneto-electronic device and a magnetic reproduction head hardly affected by an external noise and improved in S/N ratio.

**SOLUTION:** A magneto-electronic device comprises a first ferromagnetic region 3, a second ferromagnetic region 4, and a channel region 5 formed between the first ferromagnetic region 3. The second ferromagnetic region 4 responds to an applied magnetic field. The channel region 5 is structured to provide quasi-one dimensional channel so that a charge carrier passing through the first ferromagnetic region 3 can maintain its spin polarization when passing to the direction of the second ferromagnetic region 4.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.03.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-323767

(P2000-323767A)

(43)公開日 平成12年11月24日(2000.11.24)

(51)Int.Cl'

H 01 L 43/08  
G 01 R 33/02  
G 11 B 5/39  
H 01 F 10/06  
H 01 L 43/10

識別記号

FI

H 01 L 43/08  
G 01 R 33/02  
G 11 B 5/39  
H 01 F 10/06  
H 01 L 43/10

テーマコード(参考)

Z  
A

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全11頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-62425(P2000-62425)

(71)出願人 000005108

(22)出願日 平成12年3月7日(2000.3.7)

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(31)優先権主張番号 99303615

(72)発明者 須崎一仁

(32)優先日 平成11年5月10日(1999.5.10)

イギリス国 シー・ピー4 1ワイ・イ  
ー, ケンブリッジ, ジョージ ナットール  
クロス 33

(33)優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(72)発明者 ブルース ダブリュー アルフェナワー  
イギリス国 シー・ピー3 ゼロ・エッ  
チ・ダブリュー, ケンブリッジ, シャーロ  
ック クロス 11

(74)代理人 100091096

弁理士 平木 祐輔

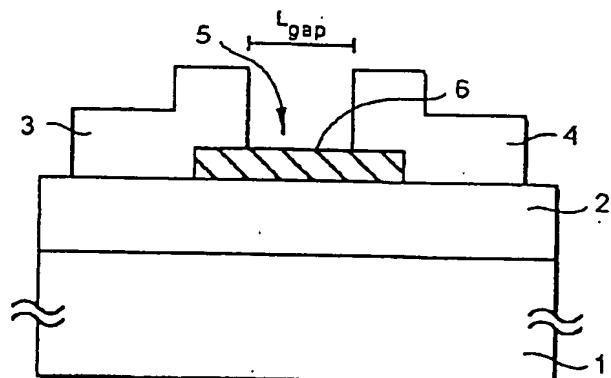
最終頁に続く

(54)【発明の名称】磁気電子デバイス及び磁気ヘッド

## (57)【要約】

【課題】 外部雑音の影響を受けにくい、信号対雑音比が改善された磁気電子デバイス及び磁気再生ヘッドを得る。

【解決手段】 第1の強磁性領域3、第2の強磁性領域4、第1の強磁性領域と第2の強磁性領域の間に設けられたチャネル領域5を有し、印加磁場に応答する磁気電子デバイス。チャネル領域5は、第1の強磁性領域3を通過する電荷担体が第2の強磁性領域4の方向へ通過する際にそのスピンドル偏極を維持できるような準一次元チャネルをもたらす構造をとっている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の強磁性領域と、第2の強磁性領域と、前記第1の強磁性領域と第2の強磁性領域との間に設けられたチャネル領域とを有し、前記チャネル領域はナノチューブ又はナノチューブの束、あるいはカーボン含有材料あるいはグラファイト層又はダイヤモンド層からなる層を含んでいることを特徴とする磁気電子デバイス。

【請求項2】 請求項1記載の磁気電子デバイスは、印加磁場に応答する磁気電子デバイスであって、前記チャネル領域は、前記第1の強磁性領域を通過する電荷担体が第2の強磁性領域の方向へ通過する際にその спин偏極を維持できるような準一次元チャネルをもたらす構造をとっていることを特徴とする磁気電子デバイス。

【請求項3】 磁気記録媒体からデータを読み出すための磁気再生ヘッドを有し、前記磁気再生ヘッドが、第1の強磁性領域と、第2の強磁性領域と、前記第1の強磁性領域と第2の強磁性領域との間に設けられたチャネル領域とを有し、前記チャネル領域はナノチューブ又はナノチューブの束、あるいはカーボン含有材料あるいはグラファイト層又はダイヤモンド層からなる層を含んでなる磁気電子デバイスを備えていることを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項4】 請求項3記載の磁気ヘッドにおいて、前記磁気電子デバイスは、印加磁場に応答する磁気電子デバイスであって、前記チャネル領域は、前記第1の強磁性領域を通過する電荷担体が第2の強磁性領域の方向へ通過する際にそのスピニ偏極を維持できるような準一次元チャネルをもたらす構造をとっていることを特徴とする磁気ヘッド。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、印加磁場に応答する磁気電子デバイス及び磁気記録媒体に対してデータを記録再生するための磁気ヘッドに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 非磁性材料の領域で隔てられた強磁性材料の領域を含んでなる一定の構造では、大きな磁気抵抗が観察される。これらの構造では、磁場を印加すると磁気抵抗は劇的に低下し、その変化は单一の磁気薄膜の場合よりも遥かに大きい。この作用は、この構造の異なる層の磁化方向の相対的な配列に起因すると信じられている。例えば、第1及び第2の強磁性層からなる構造を考えると、2つの強磁性層の磁化方向が反平行に配列した場合、特定のスピニを有する電子は一方の強磁性層を通過できるものの、他方の強磁性層に遮断されてその層を通過することができない。しかしながら、印加磁場に応答して一方の強磁性層の磁化方向が反転すると、その磁化方向は他方の強磁性層の磁化方向と平行になることができる。そのため、第1の強磁性層を通過し得る向きの

スピニを持った電子は、第2の強磁性層も自由に通過できるようになり、抵抗が比較的低くなる。従って、この現象を利用して印加磁場の有無を検知することができる。

【0003】 T. Miyazaka及びN. Tezuka "Giant Magnetic Tunneling Effect in Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe junction" J. Magn. Magn. Mater. 139, L231-L234に記載されているように、酸化アルミニウムからなるトンネリング絶縁障壁によって隔てられたコバルト含有強磁性層で巨大磁気トンネリング効果が観察されている。"TMR as a promising device for third generation hard disk drive heads" 日経エレクトロニクス 1997, 47 No. 686 pp. 125-129に記載されているように、この一般的な構造の磁気電子デバイスを磁気再生ヘッドに用いることが提案されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 磁気再生ヘッドに使用される従来の磁気電子デバイスは、厚さ1.3nmのトンネリング絶縁Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を間に挟んで厚さ3.3nmのコバルトからなる第1及び第2の強磁性層を積層してなり、トンネリング絶縁層は強磁性層間に電子を流す薄いトンネリング障壁として働く。個々の層は、絶縁基板上へ順次堆積される。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなるトンネリング障壁は、一方のコバルト層へ堆積させたアルミニウムの薄層を酸化することにより形成する。この酸化工程には10時間以上を要し、そのために製造速度が低下する。さらに、印加磁場に対するデバイスの感度を上げるには、酸化アルミニウム膜に高品質と均一性が要求される。トンネリング障壁を貫くピンホールによって短絡が生じるようがあれば、深刻な問題となる。さらに、磁気電子デバイスは、磁気媒体上の個々の記録領域を検知できるよう十分に小型化する必要があり、その結果、デバイス全体の抵抗が比較的高くなり、かつ外部雑音に影響され易くなる。

【0005】 本発明は、これらの問題点を解消した改良型の磁気電子デバイスを提供することを目的とする。本発明は、また、その磁気電子デバイスを応用した磁気ヘッドを提供することを目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明によれば、印加磁場に応答する磁気電子デバイスが提供される。この磁気電子デバイスは、間にチャネル領域を有する第1及び第2の強磁性領域を含み、これらの強磁性領域は、第1領域を通過し得る特定のスピニ偏極を有する電荷担体が、印加磁場によって生じた強磁性領域の磁化の相対配向の関数として第2領域を通過するような構造をとっているため、デバイスの導電率は印加磁場の強度の関数となる。

【0007】 チャネル領域は、第1の強磁性領域を通過する電荷担体が第2の強磁性領域の方向へ通過する際に

そのスピン偏極を維持できるような準一次元チャネル（quasi-one-dimensional channel）をもたらす構造をとる。準一次元チャネルはナノチューブを含んでいてもよく、ナノチューブはカーボンから形成することができる。チャネル領域はこのようなナノチューブの束を含んでいてもよい。

【0008】本発明の別の態様におけるチャネル領域は、グラファイトからなる層又はダイヤモンド層を含んでいてもよい。本発明は、また、チャネル領域にカーボン含有材料が含まれることを特徴とする、チャネル領域を間に有する第1及び第2の強磁性領域を含んでなる印加磁場に応答する磁気電子デバイスも包含する。

【0009】すなわち、本発明による磁気電子デバイスは、第1の強磁性領域と、第2の強磁性領域と、第1の強磁性領域と第2の強磁性領域との間に設けられたチャネル領域とを有し、印加磁場に応答する磁気電子デバイスであって、チャネル領域は、第1の強磁性領域を通過する電荷担体が第2の強磁性領域の方向へ通過する際にそのスピン偏極を維持できるような準一次元チャネルをもたらす構造をとっていることを特徴とする。

【0010】チャネル領域は、カーボン、窒化ホウ素又はシリコン等からなるナノチューブ又はナノチューブの束、あるいはカーボン含有材料からなる層（例えば、グラファイト層又はダイヤモンド層）を含むものとすることができます。

【0011】本発明による磁気電子デバイスは、また、チャネル領域を間に有する第1及び第2の強磁性領域を含み、印加磁場に応答する磁気電子デバイスであって、チャネル領域がカーボン含有材料を含んでなることを特徴とする。チャネル領域はカーボンナノチューブ又はナノチューブの束あるいはグラファイト層又はダイヤモンド層から構成することができる。

【0012】第1及び第2の強磁性領域は、共通の基板上に形成された層とすることができる。例えば、金属、ガラス、シリコン等からなる基板上に酸化ケイ素や窒化ケイ素等の絶縁層を被覆し、その上に第1及び第2の強磁性層を形成した構造とすることができる。第1及び第2の強磁性領域はコバルト含有材料で形成することができる。また、本発明による磁気電子デバイスには、磁場をチャネル領域に印加するためのゲートを備えることができる。

【0013】本発明による磁気ヘッドは、磁気記録媒体からデータを読み出すための磁気再生ヘッドを有し、磁気再生ヘッドが、第1の強磁性領域と、第2の強磁性領域と、第1の強磁性領域と第2の強磁性領域との間に設けられたチャネル領域とを有し、チャネル領域はナノチューブ又はナノチューブの束、あるいはカーボン含有材料あるいはグラファイト層又はダイヤモンド層からなる層を含んでなる磁気電子デバイスを備えていることを特徴とする。

【0014】前記磁気ヘッドが備える磁気電子デバイスは、印加磁場に応答する磁気電子デバイスであって、チャネル領域は、第1の強磁性領域を通過する電荷担体が第2の強磁性領域の方向へ通過する際にそのスpin偏極を維持できるような準一次元チャネルをもたらす構造をとっている。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を添付の図面を参照しながら例を挙げて説明する。図1～3に、本発明による磁気電子デバイスの第1の実施形態を示す。図1の断面図を参照すると、この磁気電子デバイスは、半導体ウェハあるいは金属プレート等からなる平面状の支持体1を含む。絶縁基板2は、例えばSiO<sub>2</sub>又はSiNからなるウェハ1上に形成される。第1及び第2の強磁性領域3、4は、チャネル領域5を間に挟んで基板2上に形成される。この実施形態では、チャネル領域5は、第1及び第2の強磁性領域3、4間に幅L<sub>gap</sub>を有し、この幅L<sub>gap</sub>は250nmのオーダーである。強磁性領域3、4は、厚さ50～100nmに堆積させたコバルトとすることができる。領域3の典型的な寸法は2×2μmであるが、本発明はこれらの寸法に限定されるものではない。後でより詳細に説明するが、領域3、4は、非対称の磁化特性を与えるため、わずかに異なる表面積を有する。

【0016】この例では、電子を強磁性領域3、4間に流すため、強磁性領域3、4間のチャネル領域5にカーボンナノチューブ6を延在させている。電流の方向を図2に矢印7で示す。カーボンナノチューブは、直径が典型的には1.4～20nmの範囲、長さが65μmのオーダーである中空の、一般には円筒状の部材である。一層あるいは多層、いずれのナノチューブも使用することができる。カーボンナノチューブは真空冶金（株）より市販されている。ナノチューブについては、“Physical Properties of Carbon Nanotubes” R. Saito, G. Dresselhaus and M.S. Dresselhaus, Imperial College Press, London, 1998にさらに詳しく記載されている。

【0017】図3は、図1及び2に示した磁気電子デバイスのチャネル領域の電子顕微鏡写真である。この例の場合、第1及び第2の強磁性領域3、4は厚さ65nmのCoであり、第1及び第2の強磁性領域3、4間の幅L<sub>gap</sub>は250nmである。

【0018】図4に、本発明による磁気電子デバイスに磁場を印加した際の抵抗特性を示す。比較的強い磁場を磁気電子デバイスに印加した場合（領域A）には、この強い磁場によって強磁性領域3、4の磁化方向が磁場に平行になる。強磁性材料の特徴は、大部分の伝導電子のスピンの向きが強磁性材料の磁化方向に一致することである。例えば、強い正の磁場条件（A）では、強磁性層4中の電子の大部分が図5中の垂直な矢印に対応するスピンの向きを持つ（列1）。電子は強磁性層4からカーボンナノチューブ6を通過する。

ポンナノチューブ6を通って強磁性層3へ到達するが、カーボンナノチューブは長いスピンドル長を有するため、スピンドルはほとんど生じない。既に説明したように、強い磁場によって強磁性層3、4の磁化方向は互いに平行に配列する。従って、大部分のスピンドル状態も揃うため、磁気電子デバイスは比較的低い電気抵抗を示す。

【0019】磁場を弱めると(図4の領域B)、図5の列2に示されているように、強磁性層3、4の一方がその磁化方向を反転させて反平行の配置をとる。この状態では、大部分のスピンドル状態が揃っていない。その結果、磁気電子デバイスは高い電気抵抗を示す。

【0020】弱い磁場中で一方の強磁性層が反転して反平行磁化配置をとることは、表面積の違いのため、強磁性層3、4がわずかに異なる容積保磁度を有することに起因し、そのため、磁場強度の低下に応答して一方の強磁性層が他方よりも先にその配列方向を反転させるのである。

【0021】磁場方向を反転させて強い負の磁場を印加すると、第2の強磁性層の磁化も最終的には反転して印加磁場の方向を向く。この状態では、図5の列3に示すように、両強磁性層の大部分のスピンドル状態が再び整列し、そのため磁気電子デバイスは比較的低い電気抵抗を示す。

【0022】強磁性層3、4はヒステリシスを示すため、磁場を反転させたときに、図4に破線で示した特性がもたらされる。図4において実線は外部磁界を負から正にあげていった場合の磁気抵抗曲線を表し、破線は外部磁界を正から負にさげていった場合の磁気抵抗曲線を表す。

【0023】本発明によれば、カーボンナノチューブ6を使用することで、 $A_12O_3$ トンネリング障壁層を用いた先行技術のデバイスと同等以上の、磁場が強い状態と弱い状態の間の差抵抗 $\Delta R$ (一例では14%程度)を得られることが判明した。この理由は完全には解明されていないが、カーボンナノチューブの特徴は、強磁性領域3、4間に延びる準一次元チャネルをもたらすことであり、これにより、強磁性層4から放出されるスピンドル電子が最小限の散乱で第2の強磁性層3へ運ばれるため、そのスピンドル偏極を保持することができ、その結果、大きな $\Delta R$ 値が得られるものと考えられる。

【0024】図1～3に示した磁気電子デバイスの製造方法を、図6を参照して説明する。図6において、左側に示した図は製造工程中の1工程を示す概略平面図、右側に示した図はすぐ左の平面図に対応する概略断面図である。

【0025】まず、図6(a)及び対応の断面図6(b)に示すように、半導体基板1上に酸化物層2を厚さ200nmに形成する。次いで、カーボンナノチューブ6を酸化物層2の表面上へ配置する。ナノチューブの配置は以下の手順で行う。ナノチューブをジクロロエタ

ンに懸濁させた懸濁液を形成し、超音波で懸濁液を均質化する。次いで、得られた液体懸濁液を酸化物層2上に広げ、乾燥させてナノチューブを堆積させる。次に、ナノチューブの一つを顕微鏡(図示せず)を用いて表面上へ配置する。

【0026】次に、図6(c)及び対応の断面図6(d)に示すように、電子線レジスト材料の層8を塗布する。好適な電子線レジストの例は、Microlithography Corporation製の「NANO PMMAレジスト」である。レジスト層8を電子線リソグラフ工程にかけ、ナノチューブ6の両端部に最終的な強磁性領域3、4の領域9を規定する。あるいは、領域9を形成するのに、高分解能フォトリソグラフ技術を適切なレジストと共に使用することもできる。

【0027】さらに、図6(e)及び図6(f)を参照すると、圧力 $4 \times 10^{-7}$ Torr、室温にて、コバルト強磁性材料の層10を熱蒸着によって厚さ50～100nmまで堆積させる。代わりに電子線蒸着を使用することも可能である。さらに、図6(g)及び図6(h)に示すように、レジスト8をアセトンで溶解して除去し、ナノチューブ6の両端部に電気的に接続した第1及び第2の強磁性領域3、4を基板上に残す。強磁性領域3の方が対応する領域4よりも表面積が大きいため、前述したように、関与する電子スピンドル状態の非対称反転が確実となる点に注意されたい。Aからなる追加の金属コンタクト層(図示せず)を強磁性領域3、4上に設けて外部電圧源に接続し、磁気電子デバイスの抵抗を測定して印加磁場を検知することができる。

【0028】この製造方法では、強磁性領域3、4の両方に同一の強磁性材料を堆積させる。しかし、別の工程を使用して、異なる強磁性材料を個々の領域に使用してもよい。この方法では、異なる保磁度を有する様々な強磁性領域を得ることができ、印加磁場に応答してスピンドル状態が非対称反転する。この工程を図7を参照して説明する。図7において、左側に示した図は製造工程中の1工程を示す概略平面図、右側に示した図はすぐ左の平面図に対応する概略断面図である。

【0029】最初に、図7(a)及び図7(b)に示すように、基板1、酸化物層2及びナノチューブ6を前述の通りに調製する。次に、図7(c)及び7(d)に示すように、層8について前述したようにフォトレジスト層11を塗布して窓12を開け、ナノチューブ6の一方の端部に重なる強磁性領域3を規定する。

【0030】さらに、図7(e)及び図7(f)に示すように、第1の強磁性膜を厚さ30～35nmに堆積させ、窓12中に第1の強磁性材料からなる強磁性領域3を形成する。好適な強磁性材料の例は、Co、Ni、Fe及びこれらの合金である。適切な堆積条件は、室温で圧力 $4 \times 10^{-7}$ Torrである。

【0031】次に、従来慣用のリフトオフ法でフォトレ

ジスト材料とその上に重なった強磁性材料を除去する。レジストをアセトンで溶解すると、カーボンナノチューブ6の一方の端部に接触した強磁性領域3を有する、図7 (g) 及び図7 (h) に示す構造が得られる。

【0032】次に、ナノチューブ6のもう一方の端部で同様の工程を繰り返す。図8 (i) 及び図8 (j) を参照すると、上述のレジストからなる別の層11'を基板表面全体へ塗布して第1の強磁性領域3を被覆し、前述した従来のリソグラフ技術によって窓13を設け、第2の強磁性領域4用の開口をカーボンナノチューブ6のもう一方の端部に形成する。次いで、第1の強磁性領域3と同様に第2の強磁性材料を塗布し、温度及び圧力の条件を領域3の場合と同一にして第2の強磁性領域4を厚さ30～35nmに形成する。第2の強磁性領域4の材料は、この例では領域3に使用する材料とは異なる。例としては、Co, Ni, Fe及びこれらの合金が挙げられる。

【0033】次に、レジスト材料を除去し、図8 (m) 及び図8 (n) に示す配置を得る。領域3, 4は寸法が同一であっても異なる強磁性材料からなるため、個々の領域のスピンドル状態は異なる磁場強度で反転し、印加磁場に応答して図4及び図5に示す特性が得られる。既に説明したように、追加のコンタクト領域を個々の強磁性領域3, 4上に設けて外部接続とすることができる。

【0034】他の各種改変及び変形も本発明の範囲内である。例えば、図9に示すように、製造工程を変更して、まず第1及び第2の強磁性領域3, 4を堆積させ、次いでナノチューブ（例えばカーボンナノチューブ）6をブリッジとして強磁性領域3, 4へ重ねて配置することができる。ナノチューブ6は、原子間力顕微鏡を用いて位置決めするか、又は酸化物層2の表面を化学的に改質してナノチューブを吸引もしくは反発させることで位置決めしてもよい。また、図10に示すように、ナノチューブ6を、図9に示すようなブリッジではなく、強磁性領域3, 4の側面端部と接触するように配置してもよい。

【0035】さらに、電気抵抗を低下させるために、図11あるいは図12に示すように、複数のナノチューブ6を使用してもよい。図11では、図6及び図7、図8を用いて説明したいずれかの工程で形成した強磁性領域3, 4に接触するように複数のナノチューブ6を配置する。あるいは、図12に示すように、強磁性領域3, 4を橋渡すように複数のナノチューブ6をブリッジとして配置してもよい。図13に示す別の変更例では、複数のナノチューブ6を基板2から直立するように配置し、その上端部及び下端部に接触させて強磁性領域3, 4を設ける。このように複数のナノチューブを用いても前記のスピンドル偏極を保存した電子伝導特性は損なわれないのみならず、ナノチューブ全体の抵抗が低下し、より再生ヘッドとしての使用に好適となる。

【0036】当該技術分野で公知なように、カーボンナノチューブを集めて束を形成することもでき、これを本発明のデバイスに使用して電気抵抗を低下させることができる。例えば、図14に示すように、ナノチューブの束6'を一本のチューブの代わりに基板2上で使用する。また、図15に示すように、ナノチューブ束6'は、図14に示すようなコンタクト3, 4の下に置かれる配置をとるよりも、ブリッジとして配置することができる。典型的なナノチューブ束6'には2～数百本のナノチューブが含まれるが、本発明はこの範囲に限定されるものではない。

【0037】シリコン又は窒化ホウ素等の他の材料からナノチューブを作製してもよく、カーボンチューブ6, 6'の代替として使用しえることは、当業者には明らかであろう。

【0038】カーボン含有材料で形成されたチャネル領域を使用する本発明の別の例について説明すると、このチャネル領域は、ナノチューブの構造をとる代わりにカーボン層の状態で配置される。図16を参照すると、ナノチューブ6を用いる代わりに、基板を最初に調製するときに、化学蒸着法(CVD)によってカーボングラファイトを含んでなる領域14を基板2上に厚さ100nmに形成し、フォトリソグラフ技術又は電子線リソグラフ技術によって $100 \times 100 \mu\text{m}$ の寸法にバーニングする。次いで、図6又は図7及び図8を用いて説明したように、強磁性領域3, 4を塗布する。変形例では、グラファイト領域14をダイヤモンドに置き換えることができる。CVD法は、大量生産にとって好適な方法である。

【0039】図17に示す別の例では、従来のリソグラフ技術と熱蒸着を使用して、領域14を強磁性領域3, 4間にカーボン含有層、たとえばグラファイト層あるいはカーボン層をブリッジとして配置する。

【0040】図18に示す別の例では、強磁性領域3, 4よりも広い基板2上の領域14にまずグラファイト層又はダイヤモンド層を堆積させ、強磁性領域3, 4をその上に形成する。領域14の寸法は、例えば $100 \times 100 \mu\text{m}$ であり、領域3, 4の寸法は、例えば $2 \times 2 \mu\text{m}$ である。領域14の寸法を領域3, 4に比較して大きくするのは抵抗を下げるためである。得られたカーボングラファイト/ダイヤモンド層を使用する磁気電子デバイスは、先行技術で使用されるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>絶縁層に比べて、改善された抵抗特性を示す。一例として述べると、先行技術では抵抗100Ωが限界であるが、本実施例では抵抗を100Ωより小さくし、現状の磁気再生ヘッドの抵抗50Ω程度に近づけることができる。

【0041】本発明の磁気電子デバイスは、その伝導特性を制御するゲートを備えていてもよい。図19に示すように、カーボンナノチューブ6を使用するデバイスの例ではドープ領域15が基板1に設けられており、ゲ-

ト電圧 $V_{gate}$ を印加してチャネル領域5を通過する電荷のトンネリングに影響を与えることができる。

【0042】図20に示す別の例では、従来のフォトリソグラフ技術によってサイドゲート15'を基板表面に設け、電場を印加して、ナノチューブ6に沿ってトンネルチャネル領域5を通過する伝導を制御する。

【0043】図21、図22を参照して、本発明による磁気電子デバイスの製造工程の他の例を説明する。図1によって説明したように、シリコン基板1上に200nmのSiO<sub>2</sub>層を形成し、その上にナノチューブ6を設ける。これを図21(a)に示す。

【0044】次に、図21(b)に示すように、一連のレジスト層16、17、18を基板上に順次スピントリートする。最下層16はMMA又はMAAであり、厚さは約300nmである。最下層のレジスト層16の上に、層16よりも分子量の大きな材料である第1のPMMA層17を約50nmの厚さに形成する。その上に、層17よりも分子量の大きなPMMAレジストからなる第2のレジスト層18を約50nmの厚さに形成する。次に、公知の方法で最終的な第1及び第2の強磁性領域3、4に相当するレジスト層の領域を電子線19で照射する。

【0045】次に、図21(c)に示すように、レジスト層を現像液(例えば、IPA又はMIBK)によって現像し、ナノチューブ6の両端部にて最終的な強磁性領域3、4に相当する窓20、20'を開ける。相対的に分子量が異なるため、レジスト層16の溶解速度はレジスト層17の溶解速度よりも速く、レジスト層17の溶解速度はレジスト層18の溶解速度よりも速い。これにより、層16、17、18は、図21(c)に示すような階段状の構造となる。

【0046】次に、蒸着によって窓20、20'へ強磁性材料を堆積させる。基板1は排気チャンバー内でピボット回転式ホルダー上に設置されており、基板に向けて蒸着材料流を発生させる誘導加熱ポート(図示せず)に対して様々な角度で回転できる。

【0047】図21(d)を参照すると、基板1は、蒸着材料が矢印21、21'で示される鋭角にて窓20、20'へ向けられるようにピボット回転されている。その結果、Fe、Co又はNi等からなる第1の強磁性材料が、ナノチューブ6の両端部と電気的に接触するように各窓20、20'の左側に層22、22'として堆積する。蒸着工程は、室温、圧力 $4 \times 10^{-7}$ Torrで行う。層22、22'は30nmの厚さに堆積する。

【0048】さらに、図22(e)に示すように、誘導加熱ポートに対して基板1をホルダー内でピボットさせることで、ポートに対して鈍角で第2蒸着を行うことができ、矢印23、23'に示すように各窓20、20'の右側に材料を堆積させる。その結果、さらなる強磁性材料が各窓20、20'の右側に層領域24、24'と

して堆積する。第2の強磁性材料24、24'の組成は、層22、22'の材料組成と同一でもよいし異なっていてもよい。層24は大部分が窓20内でナノチューブに接触し、層22'は大部分が反対の窓20'内でナノチューブに接触することが分かる。従って、異なる保磁度特性を有する強磁性材料を窓20、20'にそれぞれ設けることができる。層24の堆積条件は、層22の堆積条件と実質的に同じであり、30nmの厚さに堆積させる。

【0049】次いで、図22(f)に示すように、誘導加熱ポートの真下の中心位置まで基板をピボットさせることで、さらに蒸着工程を矢印25、25'の方向で行うことができる。こうして、窓20、20'内にコントラクト層26、26'が典型的には厚さ60nmまで重層される。このキャッピング層は、Auから形成されてもよく、強磁性材料の表面を保護する。

【0050】さらに、図22(g)に示すように、残存するレジスト層を、図6及び図7、図8を用いて説明したようにアセトン現像液を使用してリフトオフし、堆積層22、24及び26をナノチューブ6の両端部に残し、間に間隙5を有する第1及び第2の強磁性領域3、4を得る。

【0051】図23には、本発明の磁気電子デバイスを組み込んだ、ウインチエスタディスク等の磁気記録媒体に用いられる磁気再生ヘッドの例の概略を示す。前述の例のいずれかで作製した磁気電子デバイスを組み込んだ基板1を2個の電流供給電極27、28の間に設置し、これらの電極を、チャネルトンネリング領域5を間に有する第1及び第2の強磁性領域3、4に接続する。磁気的に記録した2進数1及び0のトラックを含むウインチエスタディスクの表面等の磁気記録媒体上にヘッドを設置する。図には、磁気記録媒体のトラックT1に記録された3つのビットb1、b2、b3が略示されている。これらのビットは、従来慣用の誘導コイル(図示せず)と略示した記録ヘッド29を用いて記録することができる。ヘッドの両側には、磁気遮蔽層30、31を設ける。

【0052】ヘッドがトラックに沿って進むとき、記録ビットによってヘッドに印加される磁場は、下にあるビットが1か0かに応じて相対的に高値と低値の間を変動する。この磁場の変動に対応して電極27、28間を流れる電流が変化し、この変化を外部回路(図示せず)によって検知することでトラックT1から記録情報を検知することができる。

【0053】同様のヘッドを図24に示す。図24において、図23に示したのと同様の部品には図23と同じ参照番号を付けてある。この例では、基板1をトラックT1の表面と平行に配置しており、電極27、28は基板から垂直に伸びて強磁性領域3、4に接触している。

【0054】以上、説明してきた本発明の実施の形態

は、強磁性層の間にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>絶縁膜を用いる従来のデバイスに比べて、再生ヘッドの抵抗が著しく低減するするという利点を有する。その結果、本発明のデバイスは、外部雑音の影響を受けにくく、出力の信号対雑音比が改善される。

#### 【0055】

【発明の効果】本発明によると抵抗が低く、外部雑音の影響を受けにくい、信号対雑音比が改善された磁気電子デバイスを得ることができる。また、本発明によると、前記磁気電子デバイスを応用した高感度の磁気再生ヘッド得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気電子デバイスの第1の実施形態の概略断面図。

【図2】図1のデバイスの概略平面図。

【図3】図1及び2に示したデバイスのチャネル領域の電子顕微鏡写真。

【図4】デバイスの抵抗を印加磁場の関数として示したグラフ。

【図5】抵抗、スピニの向き及び磁場強度の関係を示す表。

【図6】本発明の磁気電子デバイスの製造工程の一例を示す図。

【図7】本発明の磁気電子デバイスの製造工程の他の例を示す図。

【図8】本発明の磁気電子デバイスの製造工程の他の例を示す図。

【図9】カーボンナノチューブがブリッジの構造をとっている、本発明の磁気電子デバイスの他の実施形態の概略平面図。

【図10】カーボンナノチューブが強磁性領域の側面端部に配置されている、本発明の磁気電子デバイスの概略平面図。

【図11】複数のカーボンナノチューブを使用する磁気電子デバイスの概略平面図。

【図12】複数のナノチューブがブリッジ構造に配置さ

れている磁気電子デバイスの概略図。

【図13】基板から直立するナノチューブの束を使用する本発明の磁気電子デバイスの斜視図。

【図14】基板上を横断するように配置したナノチューブの束を使用する本発明の磁気電子デバイスの平面図。

【図15】ナノチューブの束が強磁性領域間にブリッジとして配置されている別のデバイスの平面図。

【図16】カーボングラファイト又はダイヤモンドのトンネリング領域を使用するデバイスの平面概略図。

【図17】カーボン領域が強磁性領域間にブリッジとして配置されている、図15のデバイスに相当するデバイスを示す図。

【図18】基板上にカーボングラファイト膜を使用する本発明のデバイスの他の例を示す図。

【図19】ゲート電圧を受けるドープ基板を有するデバイスを示す図。

【図20】サイドゲートを有する本発明のデバイスの平面図。

【図21】本発明のスピンドルデバイスの他の例を製造する工程を示す図。

【図22】本発明のスピンドルデバイスの他の例を製造する工程を示す図。

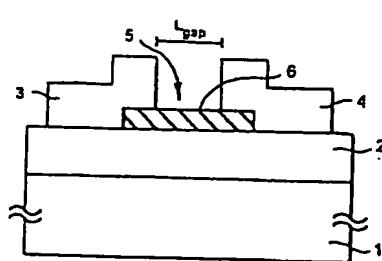
【図23】本発明の磁気電子デバイスを組み込んだ磁気再生ヘッドの例を示す図。

【図24】本発明の磁気電子デバイスを組み込んだ磁気再生ヘッドの別の例を示す図。

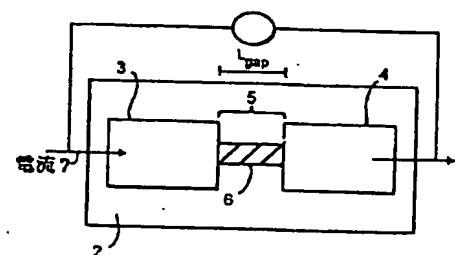
#### 【符号の説明】

1…支持体(ウェハ)、2…基板、3…第1の強磁性領域、4…第2の強磁性領域、5…チャネル領域、6…カーボンナノチューブ、8…電子線レジスト材料層、10…コバルト強磁性材料層、11…フォトレジスト層、12…窓、13…窓、14…グラファイト領域、15…ドープ領域、16、17、18…レジスト層、19…電子線、20…窓、27、28…電流供給電極、29…記録ヘッド、30、31…磁気遮蔽層

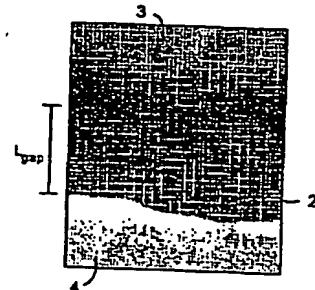
【図1】



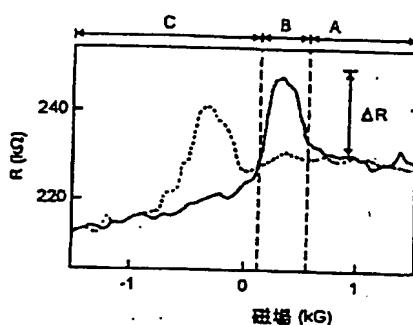
【図2】



【図3】



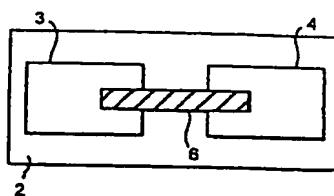
【図4】



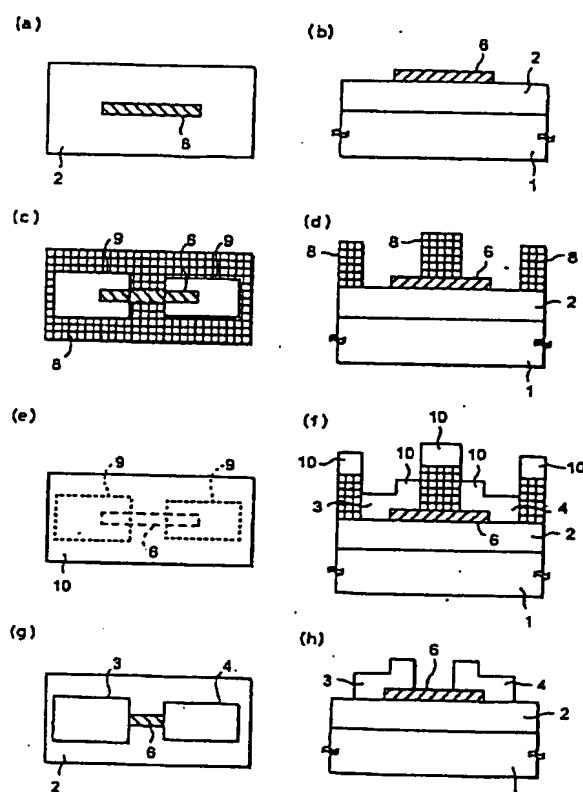
【図5】

磁場の強度	スピン配列		抵抗	列
	層3	層4		
A 強正	↑	↑	低	1
B 弱	↑	↓	高	2
C 強負	↓	↓	低	3

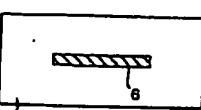
【図9】



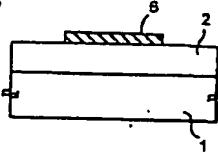
【図6】



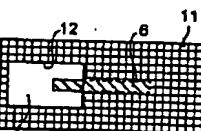
(a)



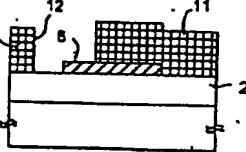
(b)



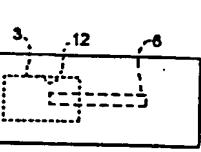
(c)



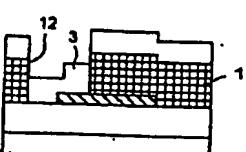
(d)



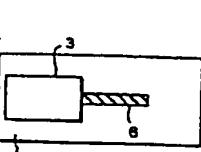
(e)



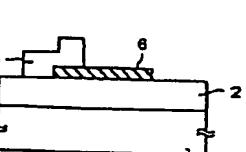
(f)



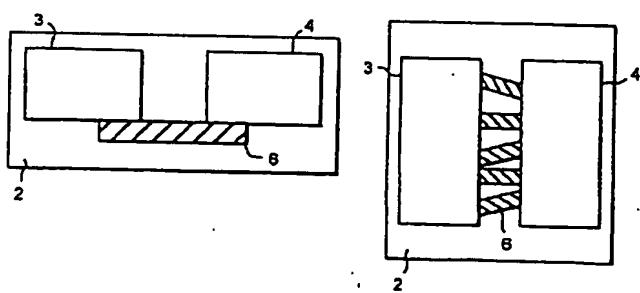
(g)



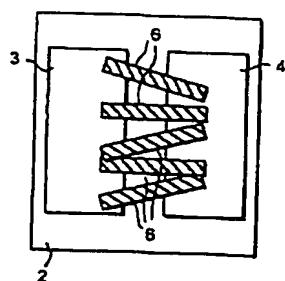
(h)



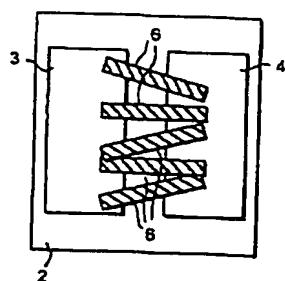
【図10】



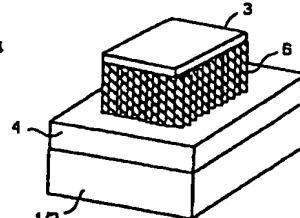
【図11】



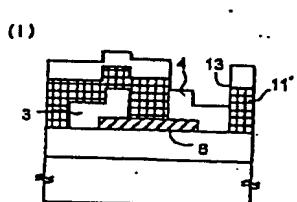
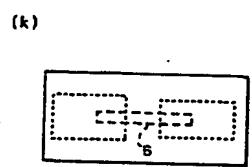
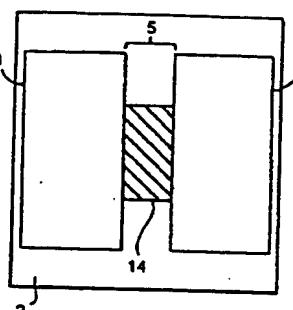
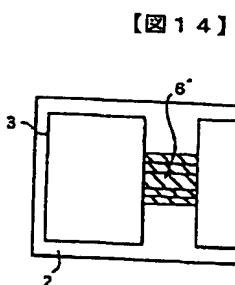
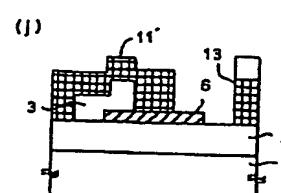
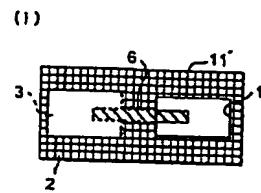
【図12】



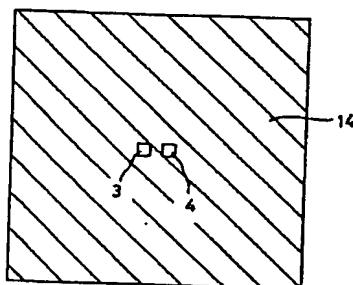
【図13】



【図8】

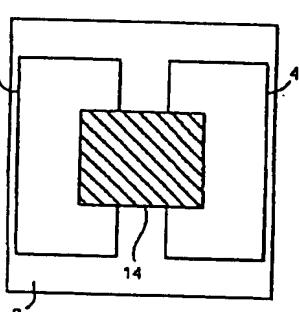
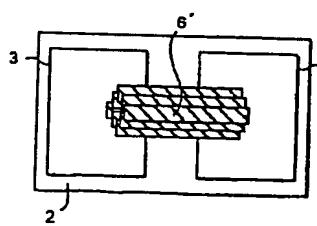


【図18】

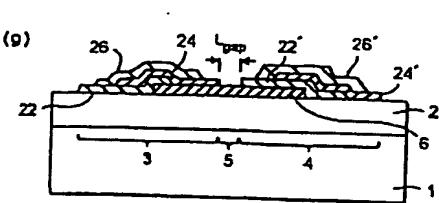
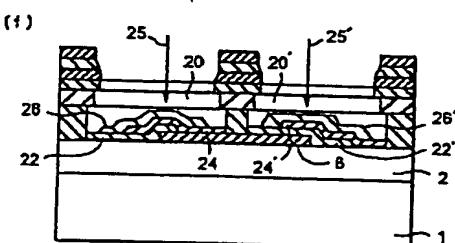
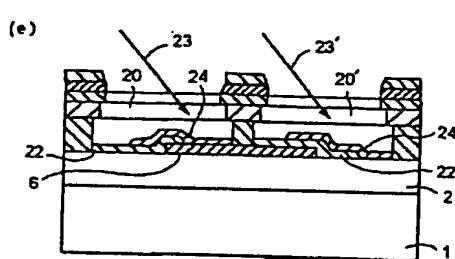


【図15】

【図17】

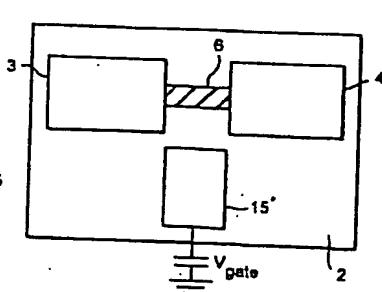
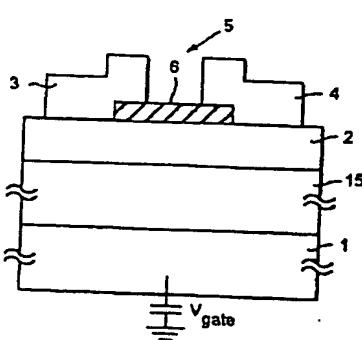


【図22】

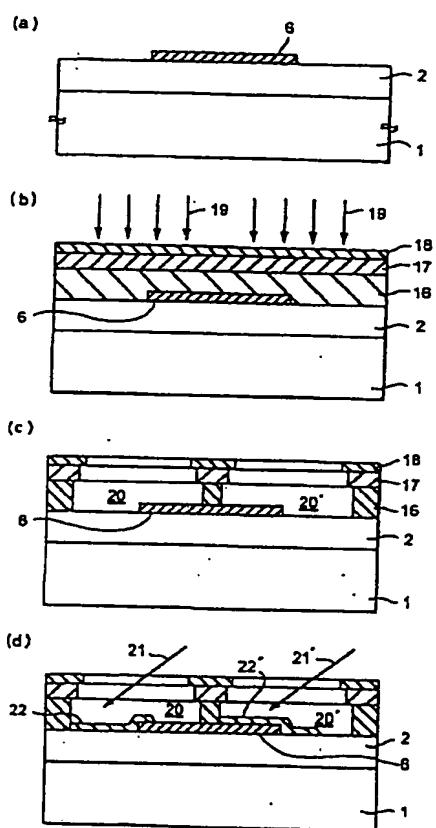


【図19】

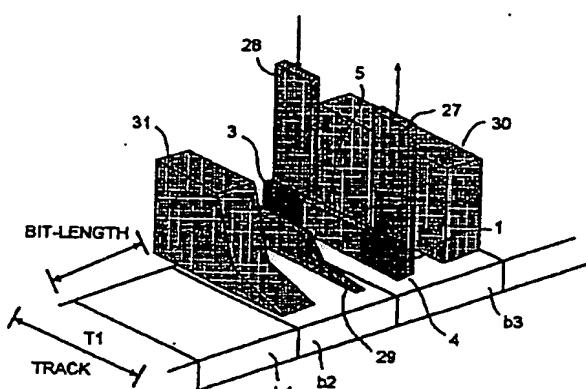
【図20】



【図21】



【図23】



(72)発明者 水田 博

イギリス国 シー・ピー4 6ゼット・ア  
ール、ケンブリッジ、ミルトン、ザ・ラウ  
アンズ 363

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER: Dark areas**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**